

⑤1

Int. Cl. 2:

**G 01 N 23/227**

①9 **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**DEUTSCHES**



**PATENTAMT**

**DE 26 48 466 A 1**

①1

# **Offenlegungsschrift 26 48 466**

②1

Aktenzeichen:

P 26 48 466.2

②2

Anmeldetag:

26. 10. 76

④3

Offenlegungstag:

27. 4. 78

③0

Unionspriorität:

③2 ③3 ③1

⑤4

Bezeichnung:

Spektrometer für niederenergetische Elektronen, insbesondere Auger-Elektronen

⑦1

Anmelder:

Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung Berlin GmbH, 1000 Berlin

⑦2

Erfinder:

Stolterfoht, Nikolaus, Dr., 1000 Berlin

**DE 26 48 466 A 1**

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Spektrometer für niederenergetische Elektronen, insbesondere Auger-Elektronen, mit einem elektrostatischen  $45^{\circ}$ -Spektrometer, in dem die zu analysierenden Elektronen in einem homogenen elektrischen Feld umgelenkt und einer Elektronennachweiseinrichtung zugeführt werden, dadurch gekennzeichnet, daß dem  $45^{\circ}$ -Spektrometer ein als langbrennweitige, schwach fokussierende Linse (2) ausgebildetes Elektronenabbremssystem vorgeschaltet ist.
2. Spektrometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die langbrennweitige Linse (2) im Eintrittskollimator des  $45^{\circ}$ -Spektrometers (3) vorgesehen bzw. eingebaut ist, so daß die aus der langbrennweitigen Linse austretenden Elektronen unter  $45^{\circ}$  in das homogene elektrische Feld des  $45^{\circ}$ -Spektrometers eintreten.
3. Spektrometer nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die langbrennweitige Linse (2) einen Eintrittsring (6) und einen Austrittsring (7) als Halterung von mehreren, für die Elektronen hochtransparenten Metallnetzen (8,9) aufweist.
4. Spektrometer nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwei parallele, hochtransparente Metallnetze (8,9), zwischen denen eine einstellbare Abbremsspannung anlegbar ist, an dem Eintritts- und dem Austrittsring (6,7) gehalten sind.
5. Spektrometer nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in dem  $45^{\circ}$ -Spektrometer (3) zwischen dem Austrittsschlitz (14), durch den die Elektronen

809817/0542

aus dem homogenen elektrischen Feld austreten, und der Elektronennachweiseinrichtung eine Elektronen-Nachbeschleunigungsstrecke (4) vorgesehen ist.

809817/0542

PATENTANWÄLTE  
SPMY

DIPL.-ING. H. WEICKMANN, DIPL.-PHYS. DR. K. FINCKE  
DIPL.-ING. F. A. WEICKMANN, DIPL.-CHEM. B. HUBER

3

2648466

8 MÜNCHEN 86, DEN  
POSTFACH 860820  
MÜHLSTRASSE 22, RUFNUMMER 98 39 21/22

HAHN-MEITNER-INSTITUT FÜR KERNFORSCHUNG BERLIN GmbH  
Glienicke Str. 100, 1000 Berlin 39

Spektrometer für niederenergetische Elektronen,  
insbesondere Auger-Elektronen

Die Erfindung betrifft ein Spektrometer für niederenergetische Elektronen, insbesondere Auger-Elektronen, mit einem elektrostatischen  $45^\circ$ -Spektrometer, in dem die hinsichtlich ihrer Energie zu analysierenden Elektronen in einem homogenen elektrischen Feld umgelenkt und einer Elektronennachweiseinrichtung zugeführt werden. In diesem Spektrometer, in dem niederenergetische Elektronen im Hochvakuum spektroskopiert werden, sollen vor allem Auger-Elektronen im Energiebereich von 5 eV bis 5000 eV mit hohem Auflösungsvermögen nachgewiesen werden, so daß das Spektrometer nach der Erfindung auch als Auger-Spektrometer bezeichnet werden kann, obwohl seine Anwendung nicht auf Auger-Elektronen beschränkt ist.

Die physikalische Grundlage der Auger-Elektronenspektroskopie besteht darin, daß durch einen Atomstoß ein Atom in seiner inneren Schale ionisiert wird. Die Folge ist, daß eine Zustandsänderung der Elektronenhülle entsteht, weil auf bestimmte Weise Elektronen "herausgeworfen" werden (Auger-

809817/0542

Effekt). Dies läßt Rückschlüsse auf die veränderte Atomstruktur zu.

So kann man z.B. in einem Auger-Elektronen-Spektrum einer chemischen Verbindung nicht nur die verschiedenen Elemente nachweisen, sondern auch unterscheiden, ob sie einfach oder mehrfach gebunden in dieser Verbindung vorliegen.

Die Möglichkeiten der Auger-Elektronenspektroskopie eröffnen deshalb in vielen Forschungsbereichen neue Perspektiven und ermöglichen der Industrie die Ermittlung von sicher verifizierten Daten für ihre produktionstechnischen Arbeiten. Die Auger-Elektronenspektroskopie ist an sich bekannt und hat bereits eine weite Verbreitung gefunden, zumal es mit dieser Spektroskopie u.a. möglich ist, Elemente auch in geringsten Spuren nachzuweisen und ihre elektronische Struktur zu analysieren.

Ein bekanntes Spektrometer, das sich im Prinzip für die Analyse niederenergetischer Elektronen eignet, ist das elektrostatische  $45^\circ$ -Spektrometer, wie es beispielsweise in der Zeitschrift "The Review of Scientific Instruments", Band 26, Nr. 9, September 1955, Seiten 850 bis 854, beschrieben ist. Die Energieanalyse der Elektronen erfolgt bei diesem  $45^\circ$ -Spektrometer in einem homogenen elektrischen Feld, das durch parallele, ebene Platten erzeugt wird. Die Elektronen treten unter einem Winkel von etwa  $45^\circ$  durch einen Eintrittsschlitz in der einen dieser beiden Platten in das elektrostatische Feld ein, durchlaufen dort je nach ihrer Energie eine mehr oder weniger steile Parabelbahn und treten ebenfalls unter einem Winkel von etwa  $45^\circ$  durch einen Austrittsschlitz in der gleichen Platte aus dem homogenen elektrostatischen Feld aus und werden anschließend einer Elektronennachweiseinrichtung zugeführt.

809817/0542

Das vorstehend kurz erläuterte  $45^{\circ}$ -Parallelplatten-Spektrometer, wie es auch etwas ausführlicher bezeichnet wird, ist zwar einfach in seinem Aufbau und in seiner Funktionsweise, aber es besitzt nur ein mittleres bis gutes Auflösungsvermögen, jedoch kein sehr gutes Auflösungsvermögen, d.h. es ist kein hochauflösendes Spektrometer, wie es in vielen Fällen benötigt wird.

Es sind zwar auch hochauflösende Spektrometer für niederenergetische Elektronen bekannt und kommerziell erhältlich; diese hochauflösenden Spektrometer sind aber im allgemeinen sehr aufwendig. Beispielsweise verwendet man, um Fokussierungen höherer Ordnung in mehreren Ebenen zu erreichen, oft elektrostatische Kugelspektrometer, aber deren Herstellung und deren Einbau in Vakuumapparaturen ist aufwendig und bereitet im allgemeinen erhebliche Schwierigkeiten.

Mit der Erfindung wird demgegenüber ein Spektrometer für niederenergetische Elektronen geschaffen, das bei relativ geringem Aufwand und bei verhältnismäßig kleinen Abmessungen und kompakter Bauweise ein hohes Auflösungsvermögen und gleichzeitig eine gute Transmission für die Elektronen besitzt.

Dieses Spektrometer nach der Erfindung, das, wie eingangs erwähnt, ein  $45^{\circ}$ -Spektrometer aufweist, zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, daß dem  $45^{\circ}$ -Spektrometer ein als langbrennweitige, schwach fokussierende Linse ausgebildetes Elektronenabbremssystem vorgeschaltet ist.

Das Auflösungsvermögen wird in diesem Spektrometer dadurch ganz erheblich verbessert, daß das bekannte  $45^{\circ}$ -Spektrometer in Kombination mit einem Abbremssystem für Elektronen versehen ist. Zwar ist die Abbremsung von Elektronen zur

809817/0542

Erhöhung des Auflösungsvermögens im Prinzip eine bekannte Maßnahme, die jedoch in der Regel Nachteile mit sich bringt; denn im allgemeinen sind mit der Abbremsung Intensitätsverluste der Elektronen und Variationen der Spektrometertransmission mit der Elektronenenergie verbunden. Gemäß der Erfindung ist es aber dadurch, daß als Abbremsystem eine langbrennweitige, schwach fokussierende Linse verwendet wird, gelungen, Intensitätsverluste und Transmissionsvariationen weitgehend auszuschalten. "Langbrennweilig" bedeutet hier, daß die Brennweite groß im Verhältnis zur Laufstrecke der Elektronen zwischen der Probe und dem Eintrittsschlitz in das  $45^\circ$ -Spektrometer ist.

Die langbrennweitige Linse kann im Eintrittskollimator des  $45^\circ$ -Spektrometers vorgesehen bzw. eingebaut sein, so daß die aus der langbrennweitigen Linse austretenden Elektronen unter  $45^\circ$  in das homogene elektrische Feld des  $45^\circ$ -Spektrometers eintreten.

Diese Linse kann einen Eintrittsring und einen Austrittsring als Halterung von mehreren für die Elektronen hochtransparente Metallnetze aufweisen. Ausgezeichnete Ergebnisse werden schon erzielt, wenn ein Eintritts- und ein Austrittsring zur Halterung von zwei parallelen, hochtransparenten Metallnetzen vorgesehen sind, zwischen denen eine einstellbare Abbremsspannung anlegbar ist. Die Netze liegen dabei bevorzugt mit dem größten Teil ihrer Fläche in Höhe oder vor der Eintrittsstirnfläche des Eintrittsrings und in Höhe oder hinter der Austrittsstirnfläche des Austrittsrings.

Die langbrennweitige Linse ist schwach fokussierend, und ihre Wirkung reicht aus, um Intensitätsverluste bei der Abbremsung der Elektronen zu verhindern. Mit dem erfindungsgemäßen Spektrometer ist es gelungen, die Elektronen auf 1/100 ihrer Energie abzubremesen. Dabei wurde ein Auflösungsvermögen bis zu  $2 \times 10^{-4}$  erreicht. Andererseits verhindert die große Brennweite der Linse, daß Elektronen einer bestimmten Energie

809817/0542

bevorzugt fokussiert werden. Dadurch ergibt sich eine praktisch konstante Transmission für die Elektronen in einem weiten Energiebereich, der beispielsweise etwa 200 bis 2000 eV beträgt. Bei alledem ist die Linse klein und kann in kleinen Spektrometernasen verwendet werden; das Spektrometer kann nahe an die Probe herangebracht werden; der von der Linse erfaßte Raumwinkel ist somit relativ groß und man erhält eine hohe Empfindlichkeit.

Die konstante Elektronenemission hat den Vorteil, daß gemessene Augerelektronenintensitäten direkt Aufschluß über die Konzentration der in der Probe enthaltenen Fremdatome geben; eine nachträgliche Korrektur der gemessenen Intensitäten ist somit nicht nötig.

Im einzelnen ermöglicht es das erfindungsgemäße Spektrometer, bei konstanter Elektronentransmission im Energiebereich von 0 bis 5000 eV eine Energieauflösung von etwa 0,1 % zu erreichen. Die Elektronentransmission beträgt dabei 20 %. Reicht bei bestimmten Anwendungsfällen ein geringeres Auflösungsvermögen, z.B. von 3 %, aus, dann kann man durch eine andere Einstellung der Abbremsspannung eine Elektronentransmission von z.B. bis 80% erreichen.

Das erfindungsgemäße Spektrometer ist insbesondere auf folgenden Gebieten mit Vorteil anwendbar:

1. Festkörperphysik (Materialforschung): Elementenanalyse an Festkörperoberflächen, z.B. Analyse von Legierungen sowie von Verunreinigungen in Festkörperoberflächen. Ermittlung der Tiefenprofile und Oberflächenstrukturen in Festkörpern, z.B. Ermittlung von Halbleiterdotierungen und von Diffusionstiefen.
2. Aerosolphysik (Umweltschutz): Elemente- und Verbindungsanalyse in Aerosolen, z.B. Analyse der Zusammensetzung von

809817/0542



Abgasen.

3. Molekülphysik und -chemie (chemische Analyse): Verbindungsanalyse, z.B. Analyse der Veränderungen von Katalysatoroberflächen. Identifizierung von Molekülen, z.B. analytische Bestimmung der Zusammensetzung von Proteinen.

4. Strahlenbiologie (Medizin): Ermittlung von Emissionsquerschnitten für Sekundärelektronen in den Geweben, z.B. Ermittlung von Energiedispositionen in Geweben.

5. Grundlagenforschung: Sekundär-Elektronen-Spektroskopie in Ion-Atom-Stoßprozessen, wie z.B. die Untersuchung von Atomstrukturen und von dynamischen Anregungsprozessen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines in den Fig. 1 und 2 der Zeichnung im Prinzip dargestellten, besonders bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert; es zeigen:

Fig. 1 einen Schnitt durch eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Spektrometers; und

Fig. 2 eine Teilschnittansicht, die den Bereich Z in Fig. 1 in vergrößertem Maßstab und mit näheren Einzelheiten wiedergibt.

Das Spektrometer für die niederenergetischen Elektronen, insbesondere für Auger-Elektronen, die aus einer Probe 1 austreten, weist zunächst eine allgemein mit 2 bezeichnete langbrennweitige, schwach fokussierende Linse für die Elektronen auf, der ein  $45^{\circ}$ -Parallelplatten-Spektrometer nachgeordnet ist, das insgesamt mit 3 bezeichnet ist. Daran schließt sich eine Streuelektronen zurückhaltendes und somit diskriminierende Elektronen-Nachbeschleunigungsstrecke 4

809817/0542

an, an deren austrittsseitigem Ende eine Elektronennachweiseinrichtung, z.B. ein Elektronenvervielfacher, vorgesehen ist. In der Zeichnung ist die Elektronennachweiseinrichtung selbst nicht dargestellt, sondern nur deren Gehäuse 5. Selbstverständlich ist das Spektrometer so gebaut, daß die Elektronenbahnen im Hochvakuum verlaufen, wie das bei solchen Elektronenspektrometern üblich ist, so daß auf die diesbezüglichen konstruktiven Maßnahmen nicht näher eingegangen zu werden braucht.

Die langbrennweitige, schwach fokussierende Linse 2 besitzt einen Eintrittsring 6 als Halterung für ein Metallnetz 8 und einen Austrittsring 7 als Halterung für ein Metallnetz 9. Die Metallnetze 8 und 9 verlaufen wie die Ringe 6 und 7 zueinander parallel. Die Metallnetze 8 und 9 sind für die Elektronen hochtransparent ausgebildet. An die Ringe 6 und 7 ist eine Abbremsspannung einlegbar.

Vor der Linse 2 liegt ein sich konisch zur Probe 1 verjüngender Eintrittsfokus 20 mit einer schlitzförmigen Eintrittsblende 21, die die Aufgabe hat, den Eintrittsraumwinkel bei großen Proben 1 zu begrenzen.

Das  $45^\circ$ -Parallelplatten-Spektrometer 3 weist eine erste Metallplatte 10 und eine zweite Metallplatte 11 auf, die sich in einem vorbestimmten Abstand befinden, und zwischen denen ein homogenes, elektrostatisches Feld erzeugt wird. Weiterhin können zwischen diesen beiden Metallplatten 10 und 11 noch Randstörungen des homogenen Feldes zwischen den Metallplatten 10 und 11 behebende Äquipotentialbleche 12 vorgesehen sein, die den Raum zwischen den Metallplatten 10 und 11 im wesentlichen freilassen. In der ersten Metallplatte 10 befindet sich ein rechteckiger Eintrittsschlitz 13, der zusammen mit dem gesamten  $45^\circ$ -Parallelplatten-Spektrometer so angeordnet ist, daß die aus der langbrennweitigen Linse 2 austretenden Elektronen unter  $45^\circ$  in das homogene

809817/0542

elektrische Feld des  $45^{\circ}$ -Parallelplatten-Spektrometers 3 eintreten. Weiterhin besitzt die erste Metallplatte 10 einen rechteckigen Austrittsschlitz 14, durch den die Elektronen unter einem Winkel von  $45^{\circ}$  zu Metallplatte 10 in die Nachbeschleunigungsstrecke 4 eintreten.

Die Nachbeschleunigungsstrecke 4 weist eine Reihe von zueinander parallelen Metallnetzen 15, 16 und 17 auf (siehe insbesondere auch Fig. 2), an die entsprechende Nachbeschleunigungsspannungen angelegt werden. Die Nachbeschleunigung diskriminiert Streuelektronen, macht also die rauscharme Aufnahme von Spektren möglich. Dabei ist an das Netz 17 ein negatives Potential gelegt, das die Streuelektronen zurückhält. An die Nachbeschleunigungsstrecke 4 schließt sich, wie bereits erwähnt, die Elektronennachweiseinrichtung, die sich im Gehäuse 5 befindet, an.

Die Wirkungsweise des vorstehend beschriebenen Spektrometers ist wie folgt:

Die Auger-Elektronen treten aus der Probe 1 durch die Linse 2 in das Spektrometer 3 ein.

In der Linse 2 werden die Elektronen zwischen den Metallnetzen 8, 9 um einen einstellbaren Energiebetrag abgebremst und treten unter  $45^{\circ}$  durch den Eintrittsschlitz 13 in das homogene elektrische Feld zwischen den Metallplatten 10, 11 ein. Dort durchlaufen sie je nach ihrer Energie eine mehr oder weniger steile Parabelbahn. Diejenigen Elektronen, die durch den Austrittsschlitz 14 hindurchgelangen, werden in der Nachbeschleunigungsstrecke 4 nachbeschleunigt, und die Menge bzw. der Strom dieser Elektronen wird in der im Gehäuse 5 befindlichen Elektronennachweiseinrichtung gemessen.

809817/0542

Über eine Zählelektronik mit Verstärker, Impulsformer und Diskriminator kann die Information über die Anzahl der nachgewiesenen Elektronen beispielsweise in einen Prozeßrechner eingegeben werden, der durch Veränderung der Abbremsspannung das gesamte Energiespektrum aufnimmt, speichert und gegebenenfalls auf Abruf auf einem Sichtgerät darstellt.

Der Energiebereich dieses Spektrometers liegt bei 0 bis 5000 eV, das Auflösungsvermögen beträgt z.B. 0,1% bei einer Elektronentransmission von 20%, wenn die Elektronen genügend abgebremst werden. Bei geringerer Abbremsung der Elektronen und einem entsprechend geringeren Auflösungsvermögen von 3% ergibt sich eine Elektronentransmission von 80%. Der Spektrometerfaktor, d.h. das Verhältnis der Ablenkspannung zur Elektronenenergie, beträgt 0,6.

809817/0542

12  
Leerseite

Nummer: 26 48 466  
 Int. Cl.<sup>2</sup>: G 01 N 23/227  
 Anm. ldetag: 26. Oktober 1976  
 Offenlegungstag: 27. April 1978

..13.  
 2648466

NACHGEREICHT

Fig. 1

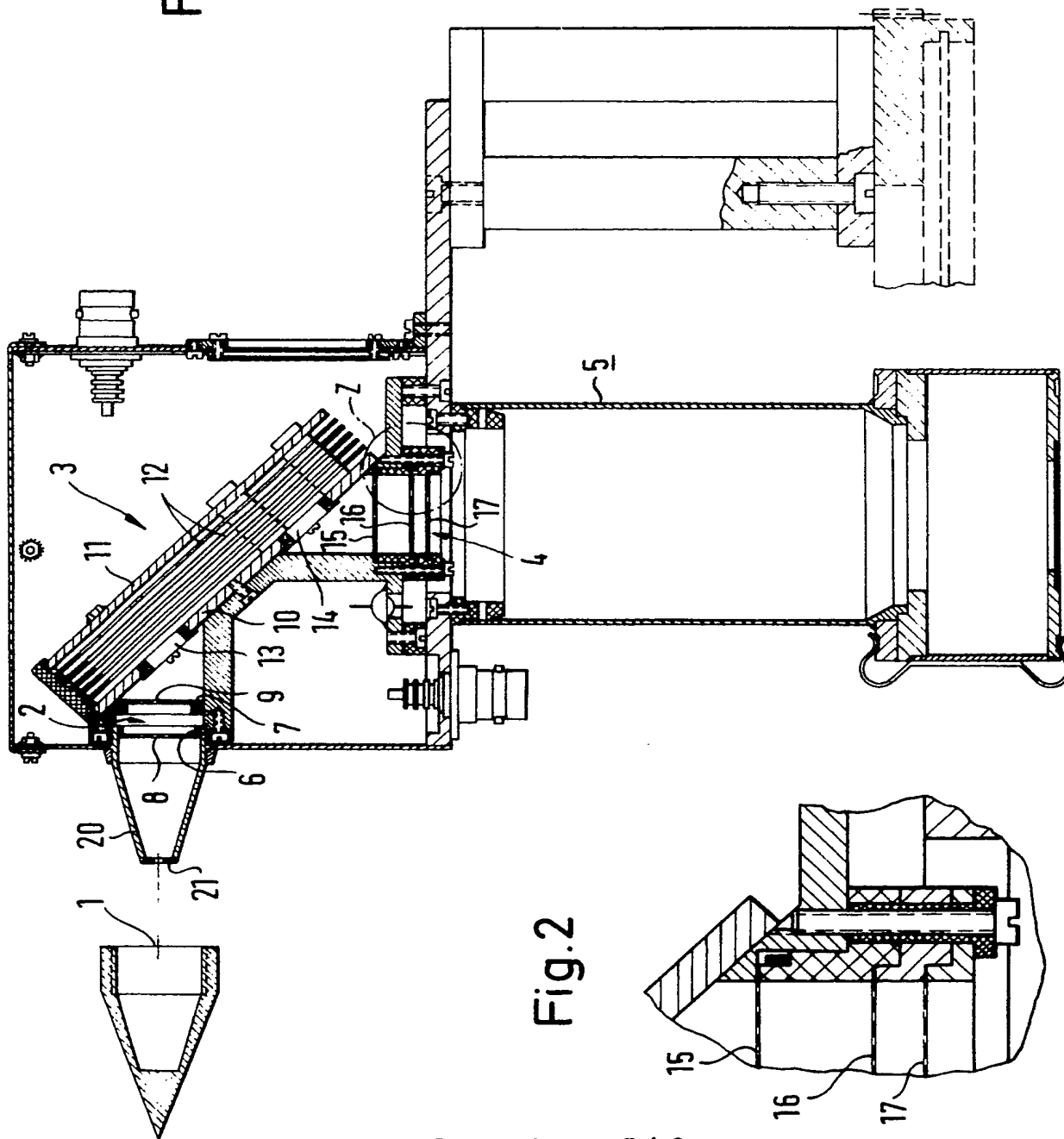


Fig. 2

809817/0542

HAHN-MEITNER-INSTITUT